

ANALISA KINERJA THERMAL KOLEKTOR SURYA BERBASIS PIPA KALOR

I Made Suinata³⁾, Wayan Nata Septiadi^{1,2)*}, K. G. Wirawan¹⁾

¹⁾Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung-Bali

²⁾Laboratorium Perpindahan Panas, Teknik Mesin Universitas Udayana

³⁾Magister Teknik Mesin, Pascasarjana Universitas Udayana,
Kampus Sudirman, Denpasar Bali
E-Mail: wayan.nata@gmail.com

Abstrak

Salah satu pemanfaatan energi matahari adalah sistem pemanas air energi surya (solar water heater). Solar water heater yang banyak digunakan adalah solar water heater konvensional dimana untuk menyirkulasikan fluida kerja pada kolektor surya menggunakan pompa sehingga masih menggunakan energi listrik yang sebagian besar bersumber dari energi fosil. Untuk mengurangi penggunaan energi listrik yang bersumber dari fosil tersebut sudah banyak dikembangkan solar water heater dengan menggunakan evacuated tube collectors yang memanfaatkan sirkulasi fluida secara alami. Karena sirkulasi fluida kerja pada evacuated tube collectors hanya memanfaatkan efek gravitasi dan lintasan uap dan cairan pada lintasan yang sehingga terjadi kekeringan dan kolektor menjadi tidak berfungsi.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, pipa kalor memang memiliki keunggulan tersendiri. Keuntungan dalam pemanfaatan pipa kalor sebagai penukar kalor atau pendingin diantaranya siklus pemindahan kalor yang relatif lebih singkat, kekompakan dimensi, meningkatkan koefisien perpindahan kalor yang cukup tinggi serta tidak diperlukannya daya tambahan karena sirkulasi terjadi secara natural

Dalam penelitian ini kolektor surya dibuat menggunakan tabung kaca yang di vakum dengan berbasis pipa kalor yang kemudian dirangkaikan sehingga menjadi sistem pemanas air yang berbasis pipa kalor. Dari hasil pengujian kolektor surya berbasis pipa kalor mampu memanaskan air hingga temperatur 71°C dengan laju aliran air 1 lpm. Hambatan termal tertinggi terjadi pada pukul 09.00 sebesar 0,388 Watt/°C, terkecil pada pukul 14.30 sebesar 0,027 Watt/°C.

Kata kunci: Kolektor surya, pipa kalor, tabung vakum

Abstrack

One of the utilization of solar energy is solar energy water heating systems. Solar water heater is the widely used on conventional solar water heater in which to circulate the working fluid in the solar collector using a pump so they use electrical energy which are largely sourced from fossil fuels. To reduce the use of electricity that comes from the fossil has been developed using a solar water heater with evacuated tube collectors that utilize natural circulation of fluid. Due to the circulation of the working fluid in the evacuated tube collectors utilize only the effects of gravity and the trajectory of vapor and liquid on the track, causing drought and kolektor become dysfunctional.

Of the few studies that have been conducted, the heat pipe does have its own advantages. The advantage in the use of heat pipe as heat exchanger or cooling cycle including the removal of heat is relatively short, compactness dimensions, enhances heat transfer coefficient is high enough and no additional power needed for the circulation occurs naturally

In this study the solar collector is made using glass tubes that vacuum with heat pipe which is then sequenced so that a heat pipe solar water heater. From the test results based heat pipe solar collector is capable of heating water to a temperature of 71°C with the flow rate of water 1 lpm. The highest thermal barriers at 09.00 amounted to

0,388 Watt /°C, the smallest in 14.30 amounted to 0,027 Watt /°C.

Keywords: solar collectors, heat pipe, vacuum tube

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya energi yang digunakan dalam berbagai kegiatan manusia adalah energi yang bersumber dari fosil. Kegiatan manusia tersebut menyebabkan terjadinya eksploitasi besar besaran pada sumber energi fosil yang berdampak pada kerusakan lingkungan hidup. Di samping itu pemakaian energi fosil juga menghasilkan gas-gas sisa yang berbahaya seperti CO₂, CO, NO_x dan sebagainya yang berdampak buruk bagi kehidupan manusia dan juga menimbulkan pemanasan global.[1].Masalah lain yang cukup memprihatinkan adalah masalah ketersediaan dari sumber energi itu sendiri. Dengan besarnya permintaan atas sumber energi yang tidak dapat diperbaharui, maka jumlah sumber daya energi ini akan habis. Hal ini diperburuk dengan bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya permintaan.

Untuk itu maka diperlukan adanya suatu energi alternatif yang bisa dimanfaatkan sebagai pengganti energi yang bersumber dari fosil tersebut. Salah satu energi alternatif yang dapat kita gunakan adalah energi matahari. Salah satu pemanfaatan sinar matahari adalah sebagai sumber pembangkit listrik. Sinar matahari juga digunakan sebagai sumber energi dalam pemanasan air, baik air panas dalam rumah tangga maupun air panas pada perhotelan dengan menggunakan *solar water heater* .[2]

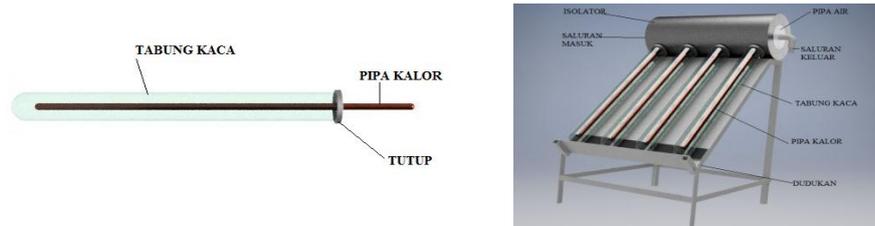
Untuk mengatasi permasalahan energi fosil maka dilakukan pengembangan pipa kalor dengan sumbu pipa kapiler sebagai *tube kolektor solar water heater*. Sumbu kapiler merupakan media berpori yang dapat memisahkan antara lintasan uap yang menuju bagian kondensor dengan lintasan cairan yang menuju bagian evaporator, dimana sumbu kapiler ini merupakan salah satu factor yang sangat menentukan kinerja dari pipa kalor yang tentunya juga akan mempengaruhi kinerja *solar water heater* [3,4].Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, pipa kalor memang memiliki keunggulan tersendiri. Di samping kinerjanya yang sangat baik karena berlangsung secara dua fasa, pipa kalor juga merupakan alat yang memindahkan kalor secara pasif atau tidak memerlukan daya tambahan dari luar sehingga secara tidak langsung dapat mengurangi konsumsi energi dari bahan fosil. Keuntungan dalam pemanfaatan pipa kalor sebagai penukar kalor atau pendingin diantaranya siklus pemindahan kalor yang relatif lebih singkat, kekompakan dimensi, meningkatkan koefisien perpindahan kalor yang cukup tinggi serta tidak diperlukannya daya tambahan karena sirkulasi terjadi secara natural [4].

Dari beberapa penelitian tersebut maka dalam penelitian ini akan dibuat sistem pemanas air (*solar water heater*) dengan menggunakan kolektor surya berbasis pipa kalor yang diharapkan mampu menyerap dan memindahkan kalor dengan cepat untuk memanaskan air tanpa menggunakan energi listrik atau energi lainnya yang bersumber dari fosil.

2. METODELOGI

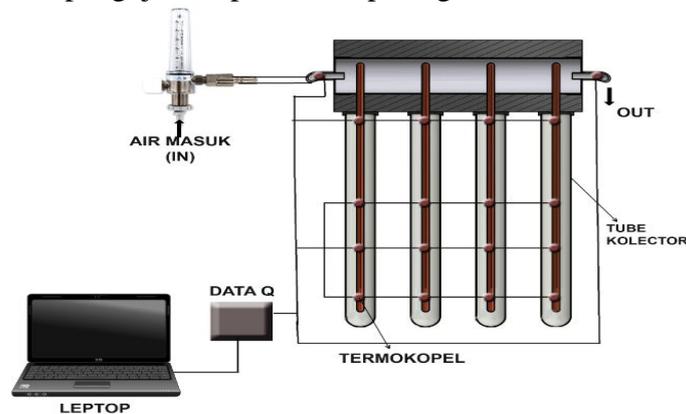
Kolektor surya dibuat menggunakan pipa kalor tembaga berdiameter 10 mm dengan panjang 700 mm. Bagian isolator dibuat dengan menggunakan tabung kaca dengan ukuran diameter luarnya adalah 60 mm dan panjang 600 mm. Tabung ini ditutup dengan *plange* yang dilengkapi dengan katup vacuum seperti pada gambar 1. Bagian kolektor surya ini akan dipasangkan menjadi sistem pemanas air berbasis pipa kalor.

Sistem pemanas air ini terdiri dari 4 (empat) buah tabung yang masing-masing berisikan pipa kalor. Bagian evaporator dari pipa kalor tersebut dimasukkan dalam pipa berdiameter 100 mm sebagai tempat menampung air yang dipanaskan seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 1. Kolektor Surya Berbasis Pipa Kalor

Adapun skema dari pengujian dapat dilihat pada gambar berikut ini:



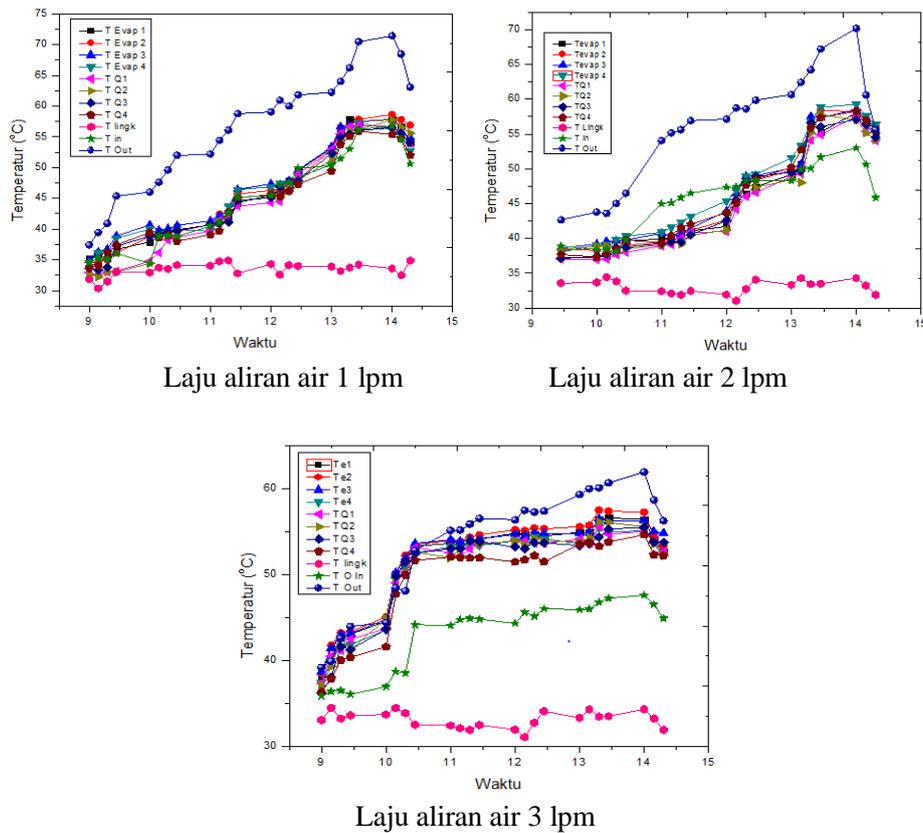
Gambar 3. Pemasangan Alat Uji Kolektor Surya

Pada gambar 3 dapat dilihat skematik dari pengujian kolektor surya. Pemasangan *flow meter* pada saluran masuk air menuju kolektor bertujuan untuk mengetahui laju aliran massa dari air ke dalam kolektor. Pemasangan termokopel pada titik yang diinginkan pada pipa kalor yaitu pada bagian evaporator dan bagian kondensor bertujuan untuk mengetahui temperatur pada titik tersebut. Ujung lain dari termokopel, yaitu bagian yang tidak membaca temperatur, dikupas kulitnya sehingga akan terlihat bagian logamnya. Kemudian kedua bagian logam dipasangkan pada DAQ (*Data Acquisition*). Pemasangan kabel logam dengan DAQ harus memenuhi persyaratan dimana logam yang berasal dari kabel merah dipasangkan pada bagian negatif sedangkan yang berasal dari kabel kuning dipasangkan pada bagian positif. DAQ dihubungkan dengan komputer dengan cara menyolok kabel USB dari DAQ ke komputer dan kabel utama DAQ ke saklar. Komputer berfungsi sebagai *display* hasil pengukuran dengan adanya *software* LabView. Program LabView, melakukan pengaturan, dan mengecek apakah termokopel sudah terpasang dengan benar dengan cara menjalankan program dan melihat temperatur yang terbaca.

3.H ASIL DAN PEMBAHASAN

1. Distribusi Temperatur

Setelah dilakukan pengujian terhadap kolektor surya yaitu pada pengukuran temperatur maka hasilnya dapat dilihat pada grafik berikut:



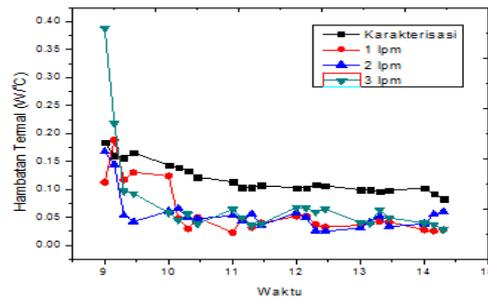
Gambar 4. Grafik distribusi temperatur pada kolektor surya berbasis pipa kalor.

Pada gambar 4 dapat kita lihat grafik sebaran temperatur heat pipe mulai pagi hingga siang hari. Pada saat awal pengujian temperatur pipa kalor di masing-masing titik hampir sama $34^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ pada bagian evaporator dan $32^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}$ pada bagian kondensor. Temperatur pipa kalor semakin meningkat seiring dengan pertambahan waktu. Temperatur tertinggi pipa kalor pada sisi evaporator sebesar $58,65^{\circ}\text{C}$ dan pada bagian kondensor sebesar $57,76^{\circ}\text{C}$ pada pukul 14.00 wita. Pada saat awal pengujian temperatur air masuk $34,573^{\circ}\text{C}$ dan air keluar $37,410^{\circ}\text{C}$. Temperatur air semakin meningkat hingga akhir pengujian. Temperatur air keluar tertinggi terjadi pada pukul 14.00 dengan temperatur $71,463^{\circ}\text{C}$. Perubahan temperatur air yang keluar semakin lama panasnya semakin meningkat karena pipa kalor terus melepaskan panas dan panasnya tersebut terakumulasi di dalam pipa penampung air sehingga tercapailah temperatur yang tinggi ketika air keluar dari tabung sistem pemanas tersebut. K.S. Ong and W. L Tong menyatakan bahwa sistem konveksi alami pipa panas mampu memanaskan air sampai 100°C .

2. Hambatan Termal

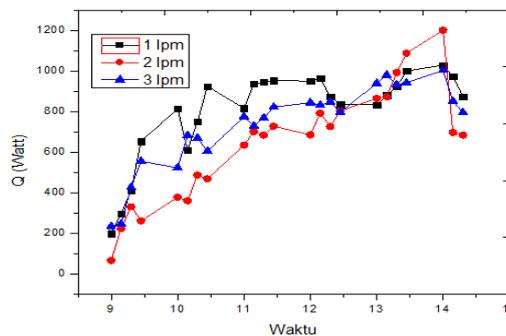
Pada gambar 5 dapat kita lihat grafik hambatan termal pipa kalor. Dalam grafik dilihat pada awal penelitian hambatan termal pipa kalor lebih besar dibandingkan dengan jam berikutnya. Hal ini disebabkan karena di awal penelitian pipa kalor belum bekerja maksimal. Setelah beberapa menit pipa kalor mulai bekerja menerima panas dan melepaskannya dengan baik sehingga kerja pipa kalor semakin bagus dan hambatan termalnya menjadi kecil. Hal ini sejalan dengan penelitian M. Arab dan A. Abbas yang menyatakan hambatan termal pipa kalor semakin lama semakin turun karena pipa kalor akan bekerja dengan baik apabila sudah menerima panas yang cukup. Secara umum hambatan termal pipa kalor tertinggi terjadi pada laju aliran air 3 lpm pada pukul 09.00 sebesar $0,388 \text{ Watt}/^{\circ}\text{C}$. Ini disebabkan karena pada saat awal penelitian ΔT antara temperatur evaporator dan temperatur kondensor lebih besar.

Dengan besarnya selisih tersebut dengan Q yang konstan menyebabkan hambatan termal menjadi lebih tinggi.. Hambatan termal terendah terdapat pada pukul 14.30 sebesar $0,027 \text{ Watt}^{\circ}\text{C}$ dengan laju aliran air 1 lpm.



Gambar 5. Grafik hambatan thermal heat pipe

3. Laju Perpindahan Kalor



Gambar 6. Grafik laju perpindahan kalor

Gambar 6 dapat menunjukkan nilai perpindahan kalor yang terjadi pada pipa kalor mulai pukul 09.00 sampai pukul 14.30 adalah sebagai berikut:

- Pada laju aliran air 1 lpm, di awal pengujian nilai perpindahan kalornya sebesar 198,62 Watt, kemudian semakin siang semakin panas dan akhirnya kembali mengalami penurunan setelah pukul 14.00. Perpindahan kalor tertinggi terjadi pada pukul 14.00 sebesar 1028,559 Watt.
- Pada laju aliran air 2 lpm, perpindahan kalor di pagi hari pukul 09.00 sebesar 64,85 Watt. Nilai perpindahan kalor pada laju aliran air 2 lpm semakin siang juga semakin meningkat meskipun di beberapa waktu mengalami penurunan namun secara umum pergerakannya adalah cenderung meningkat hingga pukul 14.00 dan setelah itu mengalami penurunan. Perpindahan kalor tertinggi terjadi pada pukul 14.00 sebesar 1201,58 Watt.
- Pada laju aliran air 3 lpm, di awal pengujian perpindahan kalor yang terjadi sebesar 425,77 Watt. Perubahan nilai perpindahan kalor pada laju aliran air 3 lpm juga hampir sama dengan laju aliran air 1 lpm dan 2 lpm dimana perpindahan kalor semakin siang semakin tinggi dan akhirnya turun kembali setelah sore hari pukul 14.00. perpindahan kalor tertinggi adalah sebesar 1003,35 Watt.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Pipa kalor memiliki nilai perpindahan kalor yang tinggi dimana pada siang hari mencapai 1201,8 Watt. Dengan kemampuan memindahkan kalor yang sangat besar ini, kolektor surya berbasis pipa kalor mampu memanaskan air hingga 71,463°C. Ini merupakan energi yang sangat besar yang dapat digunakan untuk menggantikan energi listrik sehingga dengan pemanfaatan pipa kalor sebagai kolektor surya maka dipastikan akan mengurangi pemakaian energi listrik yang sumber energinya berasal dari energi fosil.
- b. Pipa kalor memiliki hambatan termal yang sangat kecil sehingga mampu menyerap dan melepaskan energi panas matahari dengan baik. Ini dapat terlihat dari hasil perhitungan terhadap data yang diperoleh menunjukkan bahwa hambatan termal pipa kalor tidak melebihi 0,38 Watt/°C bahkan hambatan termal terendah adalah sebesar 0,0278 Watt/°C. Dengan hambatan termal yang sangat kecil maka pipa kalor mampu menyerap dan melepaskan panas dari matahari dengan baik sehingga sangat baik digunakan untuk *water heater*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Raharjo and I. Fitriana, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia," *Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLN dan Energi Terbarukan, P3TKKE, BPPT, Januari, 2005*
- [2] G. Bourke and P. Bansal, "New Test Method For Gas Boosters With Domestic Solar Water Heater," *Solar Energy*, Vol. 86, pp. 78-86, 2012
- [3] T. Kaya and J. Goldak, "Numerical Analysis of Heat and Mass Transfer in The Capillary Structure of a Loop Heat Pipe," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 49, pp.3211-3220, 2006
- [4] V.M. Kiseev, V.V. Vlassov, and I. Muraoka, "Experimental Optimization of capillary Structures for Loop Heat Pipes and heat switches," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, pp.1312-1319,2010
- [5] A. A. Pawar, D. B. Shelke, "Thermal performance of wickless heat pipe solar collector with surfactant added nanofluid and solar tracking- A Review," *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, Volume 4, Issue 1, January 2015
- [6] D.A. Redpath, "Thermosyphon Heat-Pipe Evacuated Tube Solar Water Heaters For Northern Maritime Climates," *Solar Energy*, Vol. 86, pp. 705-715, 2012
- [7] D. Reay, R. Mc Glen, and P. Kew, *Heat Pipes: Theory, Design and Applications*: Butterworth-Heinemann, 2013
- [8] D. Septiadi, "Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon dan Sekitarnya)," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol. 10, 2009
- [9] D.A.G. Redpath, P. C. Eames, S. N.G. Lo, P. W. Griffiths, "Experimental investigation of natural convection heat exchange within a physical model of the manifold chamber of a thermosyphon heat-pipe evacuated tube solar water heater," *Solar Energy* 83 988-997. 2009
- [10] D.A.G. Redpath, "Thermosyphon Heat-pipe Evacuated Tube Solar Water Heaters for Northern Maritime Climates," *Solar Energy* 86 705-712, 2012
- [11] L.L. Vasiliev, *Heat pipes in modern heat exchangers*, Applied Thermal Engineering, vol. 25, pp. 1-19. 2005

- [12] N. Putra, W. N. Septiadi, H. Rahman, and R. Irwansyah, “Thermal performance of Screen Mesh Wick Heat Pipes With Nanofluids,” *Experimental Thermal and fluid Science*, vol. 40 pp. 10-17, 2012
- [13] N. Putra, R. A. Koestoer DEA, W. N. Septiadi, Pengembangan Solar Kolektor berbasis Pipa Kalor Dengan Fluida Kerja Nano Fluida, *Universitas Indonesia*, 2014
- [14] N. Putra, W. N. Septiadi, “Teknologi Pipa Kalor,” Teori, Desain dan Aplikasi, *Universitas Indonesia*, 2014
- [15] N. G. Yoga, A. Suwono, Abdurrachim, T. Hardianto, “Kaji Eksperimental Penggunaan Pipa Kalor Dalam Kolektor Surya Sebagai Penyerap Energy Termal Surya Untuk Penyuplai Pompa Kalor Temperatur Tinggi”, *SNTTM ke-9*, Palembang 2010